

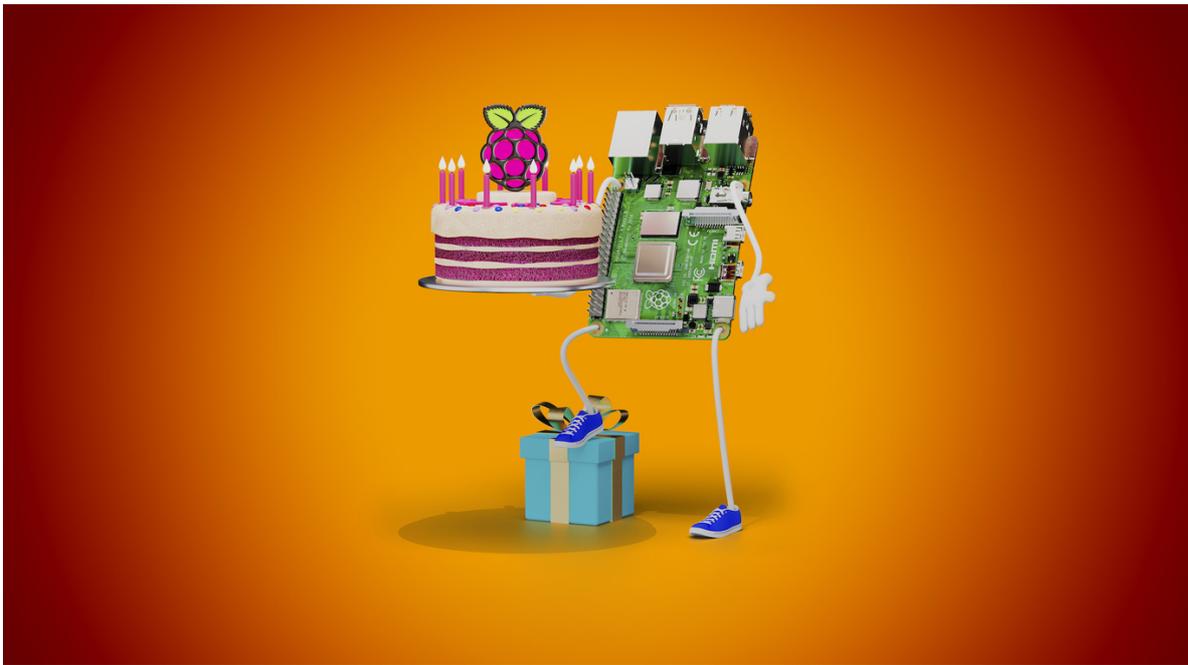


c't Heft 6/2022 S. 14-21 / Titel - Raspberry Pi: 10 Jahre Erfolgsgeschichte

## Raspiläum

### 10 Jahre Raspberry Pi: Wieso ihn Millionen Menschen kaufen

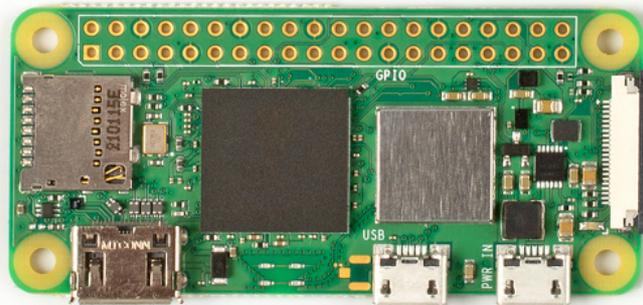
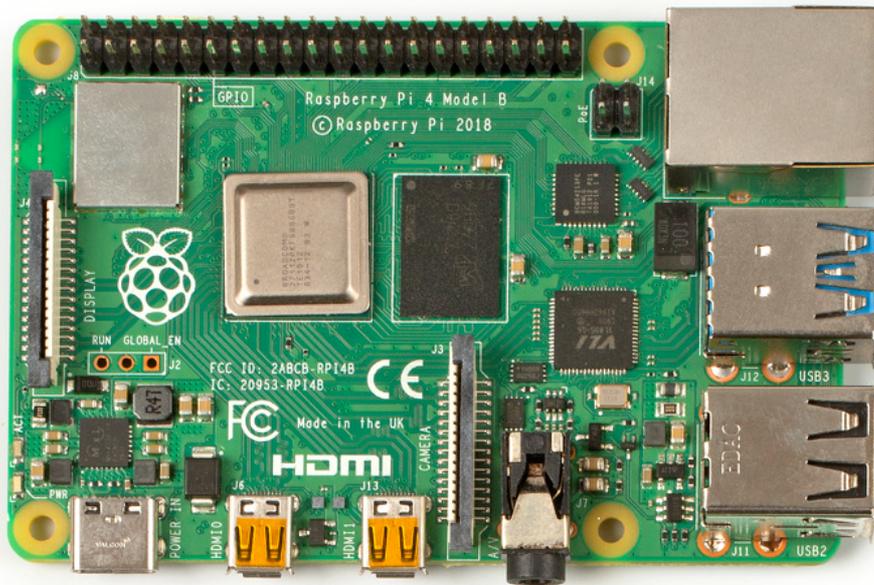
**Der Einplatinencomputer Raspberry Pi begeistert Bastler, verbessert die IT-Ausbildung, dient Profis als Entwicklungswerkzeug und gehört zu den prominentesten Linux-Rechnern. Wir blicken auf wichtige Raspi-Meilensteine zurück, nehmen das Erfolgskonzept unter die Lupe und analysieren seine wirtschaftliche Basis.**



*Bild: Andreas Martini*

Was den Raspberry Pi auszeichnet Seite 14  
Zahlen, Daten, Fakten zum Raspberry Pi Seite 22  
Raspi-GPIO: Sensoren und Servos anschließen Seite 24  
FAQ für Raspi-Einsteiger Seite 30

Er hat am Schalttag Geburtstag: Am 29. Februar 2012 stellte die Raspberry Pi Foundation ihren ersten Einplatinencomputer vor. Seither wurden mehr als 40 Millionen Raspis gekauft. Alleine 2020 waren es über 7 Millionen, was rund 2,5 Prozent der im selben Jahr verkauften PCs und Notebooks entspricht. Nach Chromebooks sind Raspis wohl die meistverkauften Linux-Rechner. Seit 2012 kamen 18 Raspi-Versionen auf den Markt, die Millionen Bastler inspirierten und eine Horde von Nachahmern auf den Plan riefen. Der kleine Computer hat riesigen Erfolg: Schauen Sie mit uns hinter die Kulissen.



Die aktuellen Raspi-Bauformen: oben der Raspberry Pi 4, darunter das Compute Module CM4 für den Einbau in andere Geräte und unten der Raspberry Pi Zero 2 W mit einer Variante des BCM2837-Prozessors des älteren Raspberry Pi 3.

SBC für alle!

Der Raspi ist ein sogenannter Einplatinencomputer mit einem billigen ARM-Chip als Hauptprozessor, auf dem (meistens) Linux läuft. Auf den ersten Blick ähnliche Single Board Computer (SBC) gibt es schon seit Jahrzehnten, aber bis 2012 nur mit Pferdefüßen: Entweder waren sie für professionelle Entwickler gedacht, also teuer und für Privatleute kaum zu beschaffen. Oder sie waren krötenlahm und wegen frickeliger Linux-Unterstützung nur von Nerds benutzbar.

Der Raspi traf mit seinen positiven Eigenschaften einen Nerv: billig, ausreichend leistungsfähig, viele Anschlüsse - aber trotzdem nicht zu kompliziert, vor allem dank guter Linux-Unterstützung und Dokumentation. Der Raspi macht Tüftler glücklich, weil er leicht in Betrieb zu nehmen ist; das wiederum motiviert zu Experimenten. Man kann sich auf sein Projekt konzentrieren, statt viel Zeit mit der Konfiguration der Hardwareplattform zu verschwenden.

Erklärtes Vorbild des Raspberry Pi 1 war der "BBC Micro" aus den 1980er-Jahren, der als Lerncomputer in einer Sendereihe der britischen BBC große Bekanntheit erreichte. Auch der Raspi zielte vor allem auf britische Schüler und Studenten, nämlich als unkomplizierte und bezahlbare Hardwareplattform für die IT-Ausbildung.

Die gemeinnützige Raspberry Pi Foundation steckt viel Arbeit in Software, Dokumentation, (Lehrer-)Schulungen und Support über Online-Foren. In der hauseigenen Linux-Distribution auf Debian-Basis - früher Raspbian genannt, heute Raspberry Pi OS - steckt viel Feinschliff. Kompatibilität hat höchste Priorität: Softwareprojekte laufen ohne Änderungen auf unterschiedlichen Raspi-Varianten. Das seit Jahren weiterentwickelte Betriebssystem läuft stabil genug für manche Industrieanwendungen.

Das Bootmedium ist clever gewählt: Die meisten Raspi-Versionen booten von einer MicroSD-Karte, die man an einem anderen PC (mit Windows, macOS oder Linux) vorbereiten kann. Die präparierte Speicherkarte lässt sich in einen Raspi aus einer anderen Generation oder mit anderer Bauform umstecken.

Dank offenem Betriebssystem und riesiger Entwicklergemeinde eignet sich der Raspi auch für Anwendungen, die viele Jahre lang benutzt werden sollen: Es ist kaum zu befürchten, dass der Support ausläuft, im Unterschied zu vielen sonstigen Smart-Home- und IoT-Geräten. Anders als in aktuellen x86-Rechnern steckt in Raspis zudem sehr wenig proprietäre Firmware. Damit bieten sie wenig Angriffsfläche und Verstecke für Hintertüren - gute Voraussetzungen zur Verarbeitung sensibler Daten.



*Dr. Eben Upton leitet die Raspberry-Pi-Handelssparte seit ihrer Gründung und spielt auch in der Stiftung eine wichtige Rolle. Bild: Raspberry Pi Foundation/YouTube*

### Sahnehäubchen

Die Raspi-Entwickler haben Maßstäbe gesetzt. Zum großen Erfolg beigetragen hat die 40-polige Pfostensteckerleiste mit konfigurierbaren Allzweckanschlüssen, die beim ersten Raspi noch 26 Kontakte hatte. Dieser simple GPIO-Header (GPIO steht für General Purpose I/O) im gängigen 2,5-Millimeter-Raster ermöglicht es, eine Fülle anderer Hardware wie Sensoren, Displays, Servo- und Schrittmotoren, Schalter, Encoder, Relais und LED-Streifen anzuschließen und unter Linux zu nutzen, wie wir auf Seite 24 ausführlich vorstellen.

Der billige und flexible GPIO-Anschluss entwickelte sich zum Quasistandard. Eine Fülle von Softwareprojekten nutzt ihn und es gibt eine breite Auswahl an aufsteckbaren Erweiterungsplatinen, genannt "Hardware Attached on Top" (HAT): zum Beispiel für Hi-Fi-Audio oder mit Display, Schrittmotortreibern, Sensoren oder Analog-Digital-Messwandlern. Die 40-polige GPIO-Pinleiste findet sich mittlerweile auch auf vielen konkurrierenden SBCs mit ARM-, RISC-V- und x86-Chips, sogar auf FPGA-Entwicklerboards für Profis.

Der Raspi taugt auch bestens als Open-Source-Netzwerkgerät, etwa als Webcam, Firewall oder WLAN-Hotspot. Praktisch für diese Zwecke ist die optionale

Speisemöglichkeit per Power-over-Ethernet (PoE). Eine clevere und finanziell einträgliche Idee der Raspi-Handelssparte war es, kompatibles Zubehör zu verkaufen: Kameras und Touchdisplays mit jeweils passendem (CSI-/DSI-)Flachbandkabel, Tastaturen, Mäuse, Netzteile, Gehäuse. Das erleichtert Laien den Einstieg, weil sie sich mit weniger Problemen herumschlagen müssen. Das Zubehör ist zudem für die Belieferung von Schulen, Unis und anderen Bildungseinrichtungen wichtig.

Raspi-Konkurrenten wie Orange Pi, Banana Pi und Pine A64 mögen für bestimmte Anwendungen besser geeignet oder schlichtweg billiger sein. Doch die Summe seiner guten Eigenschaften macht den Raspi zur ersten Wahl als Hardware-Unterbau für IT-Basteleien. Dadurch kommen die verschiedenen Raspi-Varianten auf gewaltige Stückzahlen. Das wiederum verschafft den Raspi-Entwicklern die finanziellen Mittel, ihr Produkt weiter zu verbessern. Bisher schaukelt sich dieser selbstverstärkende Kreislauf immer weiter hoch - bis die Chipkrise aufzog. Aktuell sind viele Raspi-Varianten entweder gar nicht zu bekommen oder nur zu überzogenen Preisen.



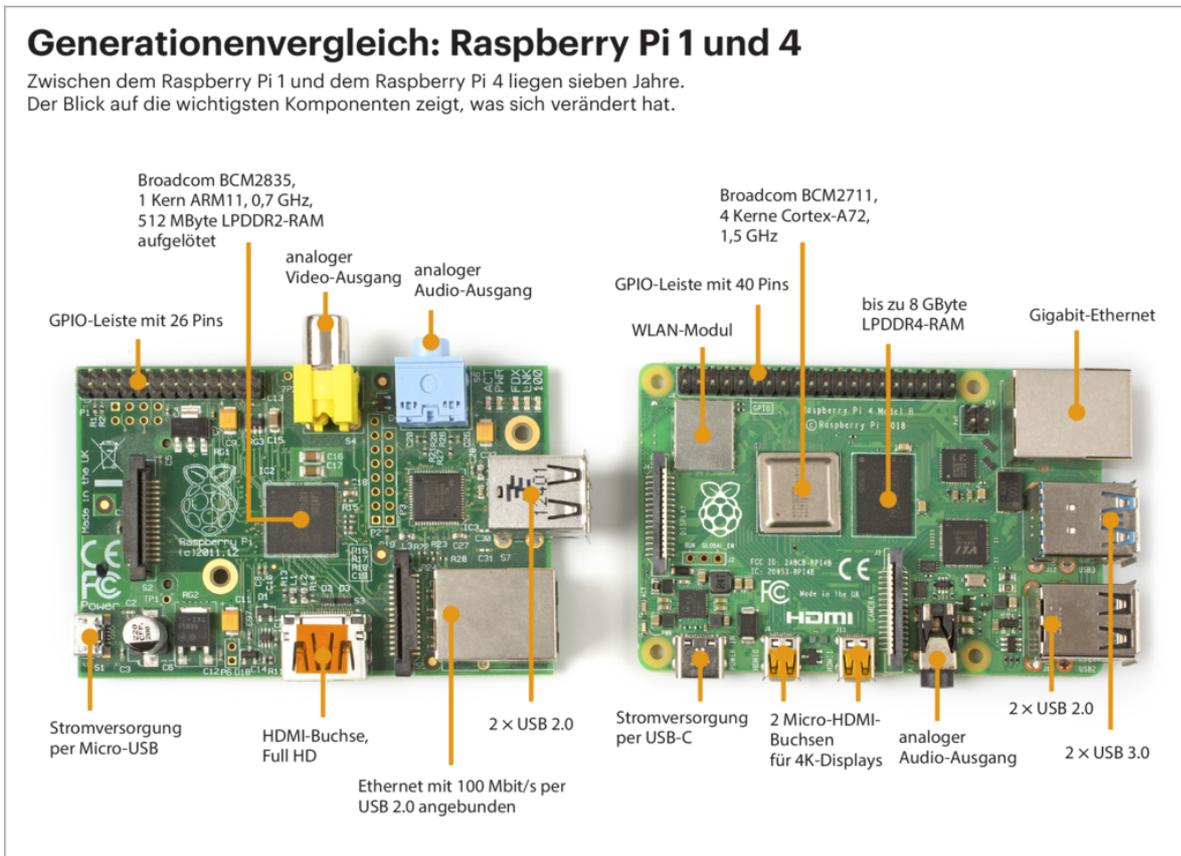
*Der Schulcomputer Raspberry Pi 400 zeigt, dass die Raspi-Macher auch aufs Äußere achten.*

## Raspi-Varianten

Die Raspberry-Pi-Familie umfasst vier verschiedene Bauformen, nämlich den "normalen" Raspi mit einer Platine im Bezahlkartenformat (8,5 cm × 5,6 cm), den weniger als halb so großen und billigeren Zero (6,6 cm × 3 cm), das Compute Module (CM) für Industriekunden und den Minicomputer Raspi 400 im Tastaturgehäuse [1]. Im Vergleich zur Standardausführung fehlen dem Zero einige Schnittstellen, um Platz zu sparen, und für die GPIO-Leiste sind nur Lötäugen vorhanden - wer Pins benötigt, muss selbst löten. Das CM wiederum hat keine direkt nutzbaren Anschlüsse, sondern ist als Steckmodul zum Einsatz in anderen Geräten gedacht, etwa als "Rechengehirn" einer Industriesteuerung. Auf einem kompatiblen I/O-Board lässt sich ein CM aber ähnlich wie ein normal großer Raspi nutzen.

Der 2020 eingeführte, eng mit dem Raspi 4 verwandte Raspi 400 ist ein bezahlbarer Schülercomputer und auch als Kit inklusive Netzteil, Maus, HDMI-Kabel, MicroSD-Karte mit vorinstalliertem Linux und gedrucktem Handbuch erhältlich. Anders als die Raspberry Pi Foundation andeutet, ist ein Raspi 400 zwar kein vollwertiger Ersatz für einen Mini-PC, dazu ist der Prozessor schlichtweg zu schlapp. Doch er taugt für einfache Aufgaben wie Textverarbeitung und steuert auch 4K-Monitore an, bei Bedarf gleich zwei davon.

Bis auf den Raspi 400 gibt es die drei anderen Bauformen jeweils in mehreren Generationen. Der Urvater Raspi 1 aus dem Jahr 2012 erschien mit einem ziemlich lahmen System-on-Chip (SoC) Broadcom BCM2835, in dessen einzigem Prozessorkern noch ARMv6-Technik aus dem Jahr 2002 rechnete. Drei Jahre später brachte der Raspi 2 eine Leistungsexplosion: Vier Cortex-A7-Kerne im BCM2836 mit 30 Prozent höherem Takt und jüngerer ARMv7-Architektur. 2016 folgte mit dem Raspi 3 ein kleinerer Schritt zum BCM2837: Dessen vier Cortex-A53-Kerne gehören zur ARMv8-Generation und sind 64-Bit-tauglich. Letzteres bringt allerdings nur in wenigen Spezialfällen Vorteile - erst vor wenigen Wochen erschien die finale 64-Bit-Version von Raspberry Pi OS. 2019 brachte der Raspi 4 den BCM2711 mit vier deutlich stärkeren Cortex-A72-Kernen und 1,4 GHz Takt (beim jüngeren BCM2711C0 1,8 GHz).



Wichtiger als der Zuwachs an Rechenleistung ist beim BCM2711, dass er endlich mehr als 1 GByte RAM anbindet. Nebenbei ist der Arbeitsspeicher auch noch schneller (LPDDR4 statt LPDDR2, [2]). Den Raspi 4 gibt es mit 2, 4 oder 8 GByte RAM. Damit stemmt er erstaunlich viele Serverdienste, auch in Docker-Container verpackte [3].

Für viele Bastelprojekte genügt locker noch ein Raspi 3 beziehungsweise sein billigerer Verwandter Zero 2 W [4]. Auf letzterem sitzt ein Kombichip, der komprimierte Raspi-3-Technik enthält: den BCM2837B0 sowie einen 512-MByte-Speicherchip. Das erste Raspi-SoC BCM2835 nutzte einen Vorläufer dieser Technik, genannt Package-on-Package (PoP): Dabei sitzt der RAM-Chip in einem eigenen Gehäuse, das oben auf das SoC gelötet ist. Man sieht daher auf dem Raspi 1 nur den Speicherchip, unter dem sich das ARM-SoC verbirgt.

Die Platinen der Compute Modules CM1, CM3 und CM3+ haben die Abmessungen von SODIMM-Speichermodule. Das CM4 [5] ist noch kompakter und hat andere Steckverbinder. Um Industriekunden anzulocken, sind die CMs nach einschlägigen Standards für Embedded Systems zertifiziert und besonders lange lieferbar; außerdem gibt es sie in Varianten mit aufgelötetem eMMC-Flashspeicher anstelle einer MicroSD-Kartenfassung.

Systems-on-Chip (SoCs) bisheriger Raspberry Pis						
Broadcom-SoC	ARM-Kerne / Typ	CPU-Takt	Grafik 1	max. RAM	Raspi-Typen	Jahr
BCM2835	1 / ARM1176JZF-S (ARMv6)	0,7-1 GHz	VC IV	0,5 GByte	1A(+), 1B, CM1, Zero, Zero W	2012
BCM2836	4 / Cortex-A7 (ARMv7)	0,9 GHz	VC IV	1 GByte	2B	2015
BCM2837	4 / Cortex-A53 (ARMv8)	1,2 GHz	VC IV	1 GByte	3B, CM3, 2B v1.2	2016
BCM2837B0	4 / Cortex-A53	1-1,4	VC IV	1	3A+, 3B(+),	2018

2	(ARMv8)	GHz		GByte	CM3+	
BCM2710A1 3	4 / Cortex-A53 (ARMv8)	1 GHz	VC IV	0,5 GByte	Zero 2 W	2021
BCM2711 (B0, C0)	4 / Cortex-A72 (ARMv8)	1,5- 1,8 GHz	VC VI	8 GByte 4	4A, CM4, 400	2019

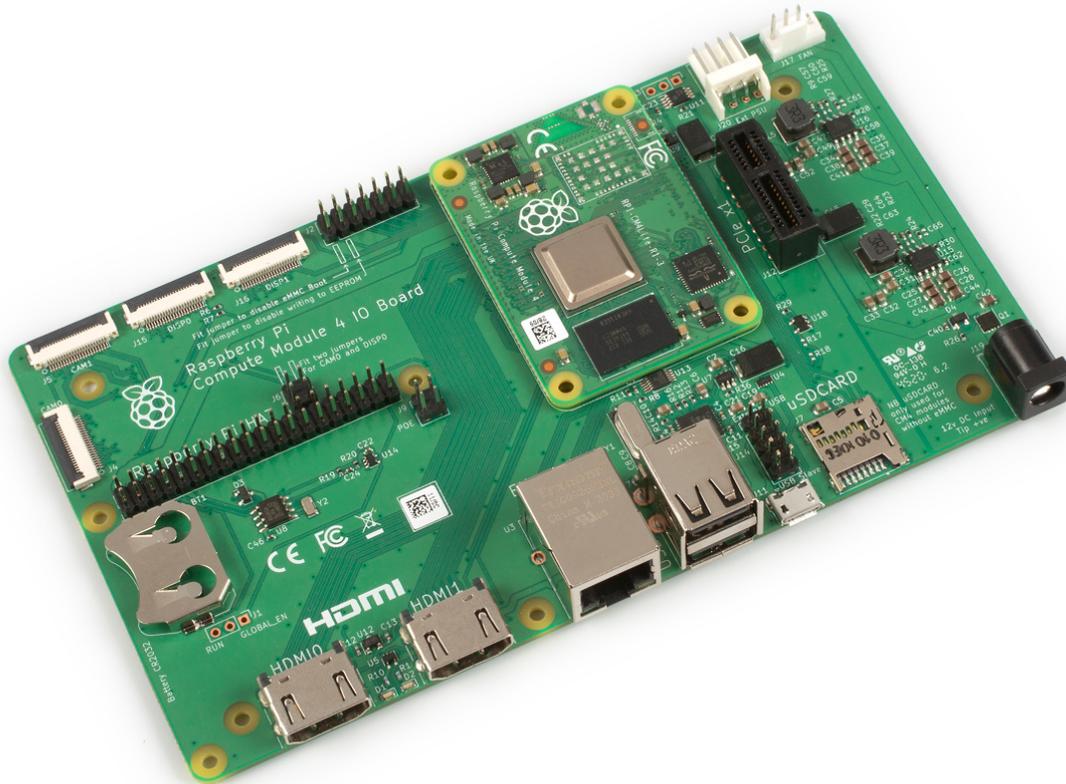
<sup>1</sup> VC steht für Broadcom VideoCore <sup>2</sup> optimierte Variante des BCM2837 mit Metalldeckel für bessere Kühlung <sup>3</sup> Variante des BCM28370B0 mit 512 MByte LPDDR2-RAM im Gehäuse integriert <sup>4</sup> LPDDR4, bei allen anderen LPDDR2; der BCM2711 kann theoretisch 16 GByte ansteuern

## Klare Linie

Die Grundidee des Raspi ist außer vom eingangs erwähnten BBC Micro auch vom sieben Jahre älteren Arduino inspiriert: Der Arduino zeigte, wie sich die zuvor praktisch nur von Profis nutzbaren Mikrocontroller auf einem "Universalsteuerplatinchen" demokratisieren lassen. Der Raspi-Erfolg beruht ganz wesentlich auf der klaren Linie, die das Team um Dr. Eben Upton seit zehn Jahren hält. Ein Eckpfeiler ist das KISS-Prinzip: "Keep it simple, stupid" - also Vereinfachung, wo immer möglich. Das hält Kosten und Fehlerquote niedrig, fördert die Kompatibilität und erleichtert es, das Produkt zu verstehen. Bei der Fokussierung auf wenige Gerätevarianten, die sich jedoch für viele Einsatzbereiche eignen und möglichst reibungslos funktionieren, schimmert Apple als Vorbild durch. Vielleicht gilt das auch für die Bemühungen um schöne Gestaltung: das Himbeer-Logo (Raspberry), die himbeerrote Farbgebung von Raspi-Gehäusen, -Mäusen und -Tastaturen, das Layout von Website und Dokumentation.

Alle Raspis haben dasselbe Platinenformat und seit dem Model 2 den berühmten GPIO-Pfostenstecker. Das bringt nicht nur Kompatibilität zu vorhandenem Zubehör und Software, sondern auch Wiedererkennungswert. Wichtige Rollen spielen auch Nachhaltigkeit, Fairness und Offenheit: Die Raspi-Platinen werden im Wesentlichen von einer Sony-Fertigungssparte in Wales bestückt, der Heimat von Raspi-Mastermind Eben Upton. Von Anfang an wandten sich Upton und seine Mitstreiter per Blog direkt an die Raspi-Nutzer, Supportforen dienen zur Pflege der Community.

Doch es gibt auch Kritiker, die sich zusätzliche Funktionen wünschen oder mehr Offenheit fordern. So fehlen den Raspi-SoCs bislang (AES-)Rechenwerke für schnelle Ver- und Entschlüsselung. Mehr PCI-Express-Lanes wären nötig, um außer USB 3.0 auch SATA oder M.2 anzubinden. Anders als beispielsweise der Arduino ist der Raspberry Pi keine Open-Source-Hardware. Zudem kommt proprietäre Firmware zum Einsatz. Das hat auch damit zu tun, dass Broadcom nicht jedes Detail der SoCs offenlegt und Funktionsblöcke von Dritten zukaft, beispielsweise die ARM-Kerne.



*Das Compute Module CM4 hat keine eigenen Anschlussbuchsen; seine Schnittstellen lassen sich aber mit einer Basisplatine nutzen wie dem IOboard, auf das man es aufsteckt.*

### Stiftung und Kommerz

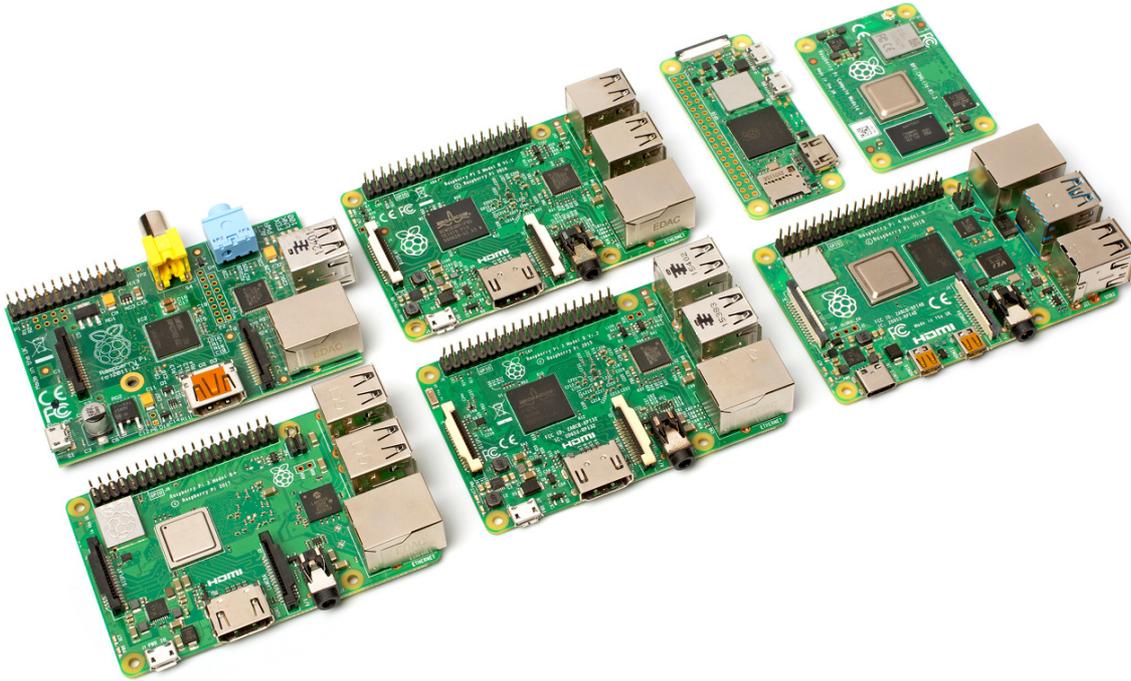
Der Raspi-Erfolg ruht auf einem geschickt konstruierten wirtschaftlichen Unterbau. Denn es gibt einerseits die Raspberry Pi Foundation als gemeinnützige ("charitable") Stiftung und andererseits die Handelssparte Raspberry Pi Ltd., die vor 2021 Raspberry Pi (Trading) Ltd. hieß. Die Handelssparte übernimmt Verkauf und Entwicklung der Raspis, gehört aber der Stiftung, der sie einen erheblichen Teil ihrer Erlöse für die Finanzierung spendet. 2020 waren es 3 Millionen britische Pfund (GBP), also knapp 3,6 Millionen Euro. Die Summe sinkt von Jahr zu Jahr: 2019 waren es 4 und davor noch 5 Millionen Pfund gewesen. Geschäftsberichte für 2021 liegen noch nicht vor.

Über die Stiftung wacht ein Rat aus 27 ehrenamtlichen Mitgliedern (darunter Eben Upton), der zehn Treuhänder wählt. 111 bezahlte Angestellte plus ehrenamtliche Helfer setzen die gemeinnützigen Ziele der Stiftung um, also vor allem IT-Bildung. 2020 gab die Stiftung rund 9,5 Millionen Pfund aus für Lehr- und Lernmaterial, Schulungen und (digitale) Zeitschriften wie das MagPi Magazine. Die Stiftung erhält auch Spenden und Fördermittel und konnte ihr Vermögen 2020 um 7,3 auf insgesamt 36,7 Millionen Pfund deutlich steigern.

Die Raspi-Handelssparte - hier kurz Raspi Ltd. genannt - arbeitet hingegen gewinnorientiert und zahlt an leitende Mitarbeiter auch hohe Gehälter, 27 ihrer Spitzenkräfte beziehen zwischen 120.000 und 230.000 Euro jährlich. Sie arbeiten höchst erfolgreich: Der Umsatz verdoppelte sich von 2019 auf 2020 fast auf 71,7 Millionen Pfund (85 Millionen Euro), wovon knapp 15 Prozent beziehungsweise 10,7 Millionen Pfund (13 Millionen Euro) als Bruttoertrag übrigblieben. Der durchschnittliche Ertrag pro Raspi stieg dank der teureren Raspi-4-Versionen um 13 Prozent auf 3,93 Euro. 17 Prozent des Umsatzes entfiel auf 2,9 Millionen verkaufte Zubehörteile wie Netzteile, Mäuse, Kameras und Kabel.

Die Handelssparte hat 73 Mitarbeiter, darunter 10 "Directors" und 34 Entwickler. 2020 flossen umgerechnet 3,7 Millionen Euro in die Entwicklung, 15 Prozent mehr als 2019 (3,2 Millionen). Die Stiftung hat 2021 ein Lizenzabkommen für nicht näher genannte Prozessortechnik abgeschlossen, vermutlich geht es um die ARM-Kerne des selbst entwickelten Raspberry Pi RP2040 (siehe Kasten). Die jährlichen Gebühren dafür betragen rund 1,2 Millionen Euro.

Um weiter wachsen zu können, hat sich die Raspi Ltd. Ende 2021 knapp 40 Millionen Euro von zwei Investoren beschafft. Diese erhielten im Gegenzug Firmenanteile. Wegen dieser Transaktion kamen Spekulationen auf, dass die Raspi Ltd. ihren Börsengang vorbereite, was Eben Upton aber dementierte. Allerdings erhalten auch einige leitende Angestellte Firmenanteile, die treuhänderisch verwahrt werden. Kurzum: Die Raspi Ltd. arbeitet wie ein schnell wachsendes Wirtschaftsunternehmen mit gut bezahlten Fachkräften.



*Generationenvergleich: Links in der oberen Reihe der Raspi 1, dann folgen Raspi 2, Zero 2 W und CM4. In der unteren Reihe liegen die Raspi 3B+, 3B V1.2 und 4B nebeneinander.*

## Enge Kontakte

Raspi-Stiftung samt Handelssparte sind in der britischen Universitätsstadt Cambridge ansässig. Dort befindet sich nicht nur der Hauptsitz der Firma ARM, sondern auch eine Niederlassung der US-Firma Broadcom. Für letztere arbeitete Eben Upton von 2006 bis 2020 als "SoC Architect" und war insbesondere für den Grafikkern VideoCore zuständig. Alle Raspis nutzen Broadcom-SoCs mit ARM-Kernen und VideoCore-GPUs. Die Entwicklung quelloffener Linux-Grafiktreiber dafür hat mit den guten Kontakten der Raspi-Entwickler zu tun.

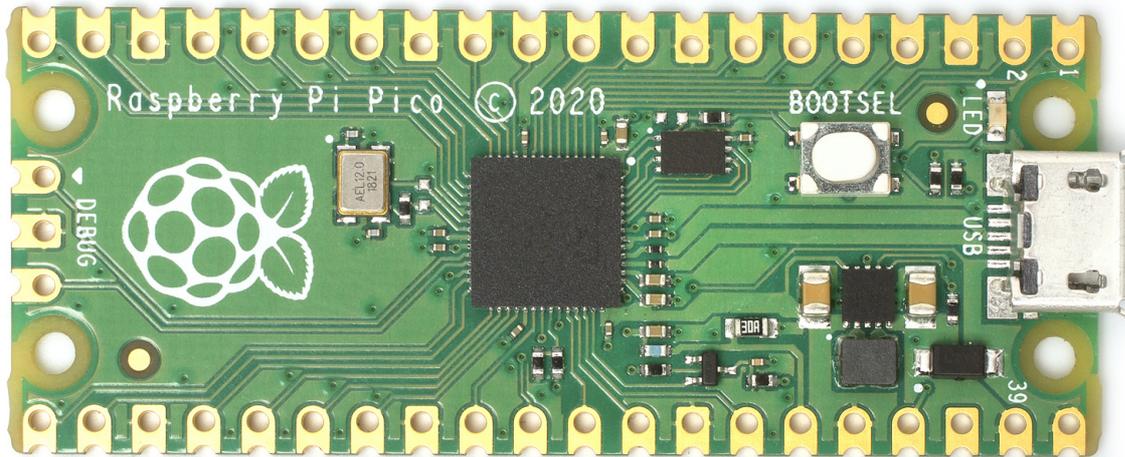
Die Firma Broadcom wurde seit 2012 mehrfach umstrukturiert. Schaut man auf ihre aktuelle Produktpalette, erschließt sich kaum noch, weshalb der Einsatz eines Broadcom-SoC für den Raspi vor zehn Jahren nahelag. Doch in Vor-Smartphone-Zeiten gehörte Broadcom zu den wichtigsten Lieferanten billiger Prozessoren sowohl für Handys als auch für Set-Top-Boxen für den TV-Empfang per Kabel und Satellit. Der BCM2835 war für Set-Top-Boxen gedacht, daher auch die Auslegung (und der Name) des VideoCore fürs Decoding von Videodaten. Auch das trug zum Raspi-Erfolg bei, denn schon früh gab es Projekte, die den Raspi in eine Medienzentrale verwandelten, etwa Kodi.

Auch die Zusatzchips für Ethernet, WLAN und Bluetooth stammten ursprünglich von Broadcom, doch deren "Wireless"-Sparte wechselte seit 2016 zweimal den Besitzer: Zunächst kaufte sie die Firma Cypress, die jedoch 2020 selbst von Infineon geschluckt wurde. Auf dem Raspi kommen keine nackten WLAN-Chips zum Einsatz, sondern mit einem Blechdeckel gekapselte Module, die gegen elektromagnetische Störungen geschirmt sind.

### *Raspi RP2040 und Pico: Neue Pfade*

Der Mikrocontroller RP2040 ist der erste Chip, den die Raspi-Handelssparte selbst entwickelt hat und beim Auftragsfertiger TSMC mit 40-Nanometer-Technik produzieren lässt. Der RP2040 ist nicht wie normale Raspis für Linux gedacht,

sondern er spielt eher in der Arduino-Liga und eröffnet ein neues Geschäftsfeld: Hersteller elektronischer Geräte sollen ihn einbauen. Der Chip kostet in großen Stückzahlen nur 75 Cent, das damit bestückte Platinchen Raspberry Pi Pico 4 Euro. Der RP2040 kommt auch auf vielen anderen Boards zum Einsatz, etwa von SparkFun und Pimoroni [6]. Vermutlich wird es vom RP2040 in Zukunft Nachfolger geben.



*Der 75-Cent-Mikrocontroller RP2040 (Mitte) ist das Herzstück des Raspberry Pi Pico.*

### Kostendruck und Linux-Pflege

In jeder Raspi-Generation gibt es eine mager ausgestattete Basisversion, die hierzulande für 35 bis 40 Euro erhältlich ist (falls nicht gerade Chipkrise herrscht). Der Raspi Zero kostet sogar nur zwischen 5 und 20 Euro - trotz europäischer Fertigung. Um die Herstellungskosten zu reduzieren, sind die Platinen kompakt, haben wenige Lagen (nämlich sechs) und sind möglichst nur einseitig bestückt. Das wiederum erschwert das sogenannte "Routing", also die Anordnung von Leiterbahnen auf der Platine, vor allem für hochfrequente Signale wie bei USB 3.0, HDMI und LPDDR4-RAM. Deshalb sind Controller und Buchsen dicht nebeneinander platziert.

Die Raspi-Entwickler bauen ihre Schaltungen aus möglichst wenigen unterschiedlichen elektronischen Bauteilen auf, die sich für sämtliche Raspi-Varianten eignen. Das vereinfacht die Beschaffung und führt zu größeren Stückzahlen, also höheren Rabattstaffeln.

Eine geringe Anzahl an Produktvarianten trägt zu höherer Zuverlässigkeit bei und reduziert den Aufwand zur Pflege von Firmware und Software. Dass neue Versionen von Raspberry Pi OS auch auf alten Raspis laufen, erleichtert Bastlern und industriellen Nutzern die Arbeit. Dafür nimmt die Raspi-Stiftung kleine Nachteile und zusätzlichen Aufwand in Kauf. Als mit der jüngsten Raspi-OS-Version auf Basis von Debian 11 Bullseye Probleme auftraten, schob man innerhalb weniger Wochen eine "Legacy"-Version mit Debian 10 Buster nach. Mit der sorgfältigen Linux-Pflege hebt sich der Raspi von vielen konkurrierenden Einplatinencomputern ab. Weshalb es bei solchen ARM-Systemen so aufwendig ist, verbreitete Linux-Distributionen zum Fliegen zu bringen, erläutern [7, 8] im Detail.

Außer Raspberry Pi OS lassen sich auch Raspi-Ableger anderer Linux-Distributionen installieren, darunter Ubuntu, Arch Linux, Kali Linux und OpenWRT. Auch NetBSD, FreeBSD, RISC OS und sogar Windows 11 laufen auf Raspis, letzteres per UEFI-Bootloader. Industriekunden finden Echtzeitbetriebssysteme wie eCos RTOS.



*Raspi-Technik gibt es auch in robustem Gehäuse zur Montage auf einer Hutschiene im Schaltschrank, etwa den Revolution Pi als Steuerungscomputer. Bild: Kunbus*

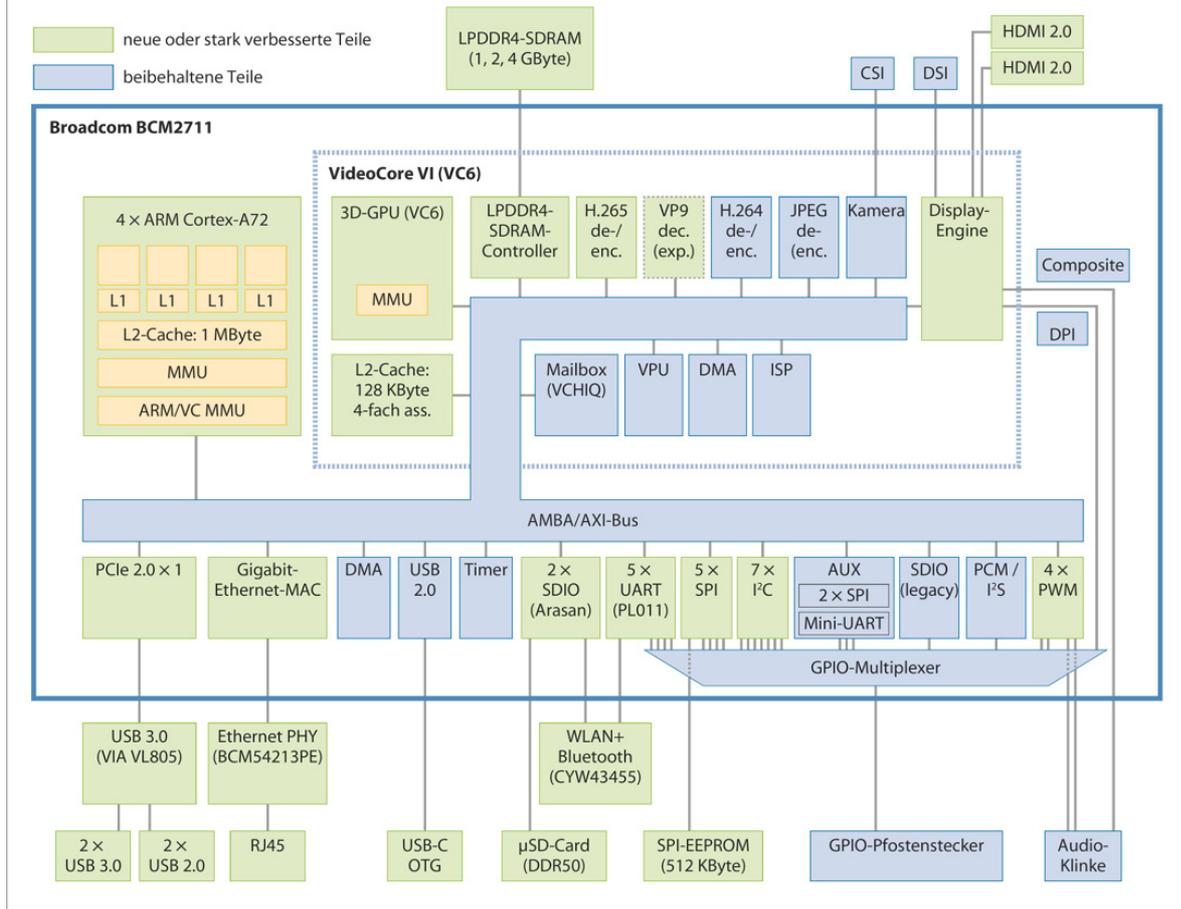
#### Ausblick

In ihren ersten zehn Jahren eilte die Raspberry Pi Foundation von einem Erfolg zum nächsten. Erschwingliche Preise, möglichst leicht verständliche Technik, Kompatibilität und offene Software haben im Raspiversum höchste Priorität. Auf einer soliden finanziellen Basis erschließt sich die Raspi-Stiftung neue Betätigungsfelder, beispielsweise mit dem Schülercomputer Raspi 400 und dem Mikrocontroller RP2040.

Doch was kommt als Nächstes? Ob sich die Raspi-Macher an Tablets oder Notebooks wagen, ist ungewiss. Denn bei europäischer Fertigung würden solche Geräte wohl mindestens 150 bis 200 Euro kosten. Damit schießen sie weit über den Preisbereich hinaus, der den Raspi überhaupt erst attraktiv gemacht hat. Außerdem würde ein solcher Raspi-Mobilrechner mit Android-Tablets sowie den billigsten Windows- und ChromeOS-Geräten konkurrieren.

## Herz des Raspberry Pi 4: Broadcom BCM2711

Das System-on-Chip (SoC) BCM2711 vereint nicht nur vier CPU-Kerne mit einer GPU, sondern enthält auch Controller für viele Schnittstellen.



Ein komplett offengelegter Raspi mit RISC-V-Technik ist wohl noch Jahre entfernt, bis der dazu nötige Billigprozessor mit genügend Rechen- und Grafikleistung auf den Markt kommt und RISC-V-Linux weiter gereift ist. Näher liegt ein Raspi 5 mit stärkeren ARM-Kernen und mehr PCIe-Schnittstellen, etwa zum Eigenbau von NAS und Routern. Ganz sicher bleibt die Raspi-Stiftung aber ihren Bildungszielen treu - und es wäre zu wünschen, dass auch Schulen in Deutschland, Österreich und Schweiz mehr Raspis nutzen. Happy Birthday, Raspi!

### Literatur

1. Christof Windeck, Tastenraspi, Raspberry Pi 400 im Tastaturgehäuse, c't 25/2020, S. 82
2. Dr. Maik Merten, Raspi-Kernschau, Das Prozessor-Innenleben des Raspberry Pi 4 im Detail, c't 20/2019, S. 164
3. Christof Windeck, NAS-Pi, Der Raspberry Pi 4 als NAS-Basis, c't 12/2020, S. 46
4. Christof Windeck, Frische Funkfrucht, Test: Einplatinencomputer Raspberry Pi Zero 2 W für nur 15 Euro, c't 25/2021, S. 76
5. Christof Windeck, Himbeerchen, Mini-Rechenmodul Raspberry Pi Compute Module 4 (CM4), c't 5/2021, S. 112
6. Dr. Maik Merten, Christof Windeck, Pico-Beere, Der Mikrocontroller Raspberry Pi RP2040, c't 26/2021, S. 106
7. Thorsten Leemhuis, Für einander gemacht, Warum es mit Upgrades bei Android hakt, erläutert an Linux beim Raspberry Pi, c't 8/2020, S. 120
8. Thorsten Leemhuis, Jenseits von Raspbian, Mainstream-Distributionen und Vanilla-Linux für aktuelle

*Christof Windeck*

<b>Quelle:</b>	c't Heft 6/2022 S. 14-21
<b>ISSN:</b>	0724-8679
<b>Ressort:</b>	Titel
<b>Rubrik:</b>	Raspberry Pi: 10 Jahre Erfolgsgeschichte
<b>Dokumentnummer:</b>	2129917022852467517

**Dauerhafte Adresse des Dokuments:** [https://www-wiso-net-de.ezproxy.hs-augsburg.de/document/CT\\_\\_0ac2248b159bd473d7dfad2a781a16040da574d3](https://www-wiso-net-de.ezproxy.hs-augsburg.de/document/CT__0ac2248b159bd473d7dfad2a781a16040da574d3)  
Alle Rechte vorbehalten: (c) Heise Zeitschriften Verlag GmbH & Co. KG

 © GBI-Genios Deutsche Wirtschaftsdatenbank GmbH